مدل فراوانی و شدت تصادفات برون‌شهری با به‌کارگیری الگوی رگرسیون پواسون★

مرتضی اسدامرجی[۱] سیداحسان سیدابریشمی[۲] محمود صفارزاده[۳] معین عسکری[٤]

چکیده *یکی از راهکارهای مهم شناسایی نقاط داری پتانسیل تصادف در جاده‌ها، ممیزی ایمنی مسیر است. پس از شناسایی این نقاط می‌توان برای آنها استراتژی‌های مناسبی درنظر گرفت تا فراوانی و شدت تصادفات کاهش یابد. در این پژوهش بااستفاده از ممیزی ایمنی مسیر مشکلات دسترسی‌ها، روسازی، علائم، کنار جاده، طرح هندسی و تصادفات جرحی و فوتی قطعات راه‌های برون‌شهری شناسایی گردید و بااستفاده از این داده‌ها الگوی ساخت مدل تصادفات در آنها ارائه گردید. در این مقاله محور همدان- کرمانشاه به‌عنوان مطالعهٔ موردی انتخاب شد که در محور مذکور مدل رگرسیون پواسونی دارای اعتبار بیشتری بود و مشکلات آب‌روها و قوس قائم به‌ترتیب مهم‌ترین دلایل بروز تصادف فوتی و جرحی بودند.*

واژه‌های کلیدی ممیزی ایمنی، جادهٔ برون‌شهری، مدل رگرسیون پواسون.

Poisson Regression Model of Frequency and Severity of Road Accidents in Rural Roads.

M. Asadamraji S .E. Seyedabrishami M. Saffarzadeh M. Askari

Abstract One of the important ways of identifying road accident potentialities is road safety audits. After identifying these points, appropriate strategies to reduce the number and severity of accidents can be considered for them. In this study, using road safety audits, access, pavements, signs, roadside, and geometric problems and accidents leading to the deaths of outlying urban road sections were identified and using these data, the model of crashes in them Was presented. In this paper, the Hamadan-Kermanshah axis was chosen as a case study. In this axis, Poisson's regression model was more reliable and the problems of drainage ditches and vertical alignment were the most important reasons for the accident and resulted in death.

Key Words Safety Audit, Rural road, Poisson regression model.

★تاریخ دریافت مقاله ۹۵/۵/۲۱ و تاریخ پذیرش آن ۹٦/۱۰/۱۰ می‌باشد.

(۱) نویسنده مسئول: دانشجوی دکتری راه و ترابری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران. Email: m.asadamraji@modares.ac.ir

(۲) استادیار گروه حمل و نقل، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

(۳) استاد گروه حمل و نقل، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

(٤) دانشجوی دکتری، دانشگاه خواجه نصیر طوسی.

مقدمه

یکی از عوامل مرگ و میر در دنیا تصادفات جاده‌ای می‌باشد که این موضوع یکی از مشکلات اصلی در راه‌های کشور نیز می‌باشد. برطبق آمار پزشکی قانونی در طول ۱۰ سال گذشته میانگین تلفات رانندگی ۲۲۱۸۵ نفر بوده‌است [1]. حدود ۷۰ درصد تصادفات کشور در جاده‌ها و راه‌های برون‌شهری اتفاق افتاده‌است. درنتیجه باید برنامه‌ریزی جدی درخصوص راه‌های برون‌شهری صورت پذیرد.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که تصادفات جاده‌ای حاصل از ۳ عامل اصلی انسان، جاده و خودرو می‌باشد [۲] و برنامه‌ریزی مناسب و ارائهٔ راهکار درخصوص هریک از آنها موجب کاهش فراوانی تصادفات و درنتیجه تعداد تلفات جاده‌ای می‌گردد. جاده و محیط راه به‌تنهایی و در اندرکنش با سایر عوامل (انسان و خودرو)، دارای سهم ۳٤ درصدی از کل تصادفات ترافیکی می‌باشد [3].

به‌منظور ارائهٔ راهکارهای مناسب برای مشکلات جاده‌ای باید نقاط حادثه‌خیز شناسایی گردند و در این راستا بازرسی و ممیزی ایمنی بسیار مفید می‌باشد. فرایند ممیزی ایمنی راه روی جاده تمرکز می‌کند و با شناسایی و اصلاح آن عناصری از راه که پتانسیل ایجاد تصادف دارند، نقش بسیار مؤثری در افزایش ایمنی ایفا می‌نماید. ممیزی ایمنی راه درراستای بهبود وضع ایمنی راه‌های موجود بسیار مؤثر می‌باشد و درراستای افزایش سطح رضایتمندی کاربران جاده و بهبود ایمنی مسیر بازرسی و ممیزی ایمنی، نقش به‌سزایی در کاستن از تعداد تلفات جاده‌ای خواهد داشت. درراستای بازرسی و ممیزی ایمنی نقاط دارای پتانسیل خطر شناسایی می‌شود. تمام خطرات در قطعه‌های مختلف راه به‌عنوان عوامل مؤثر بر فراوانی تصادفات و همچنین شدت تصادفات مشخص می‌شود.

در بسیاری از کشورهای دنیا اعم از توسعه‌یافته و در حال توسعه هم‌اکنون فرایند ممیزی ایمنی راه انجام می‌شود. در این راستا فرم‌های مخصوصی تهیه می‌گردد و باتوجه به نوع راه، نوع پارامترهایی که قرار است برداشت شود و نوع ممیزی، بازرسی ایمنی انجام می‌پذیرد. معمولاً اطلاعاتی که در ممیزی ایمنی مسیر برداشت می‌شود عبارت‌اند از علایم عمودی، علایم افقی و خط‌کشی‌ها، محدودیت سرعت، ابزارهای آرام‌سازی، حفاظ‌های کناری، حفاظ‌های میانی، دسترسی‌ها، ابنیهٔ فنی و پل‌ها، آب‌روها و وضعیت زهکشی، شرایط روسازی، فاصلهٔ دید، روشنایی، نواحی انتقالی، علایم در محدودهٔ عملیات اجرایی و سایر موارد.

مشکلات جاده‌ای جمع‌آوری‌شده و پارامترهای مربوط به آنها کاربردهای مختلفی دارند و روش‌های مختلف ارزیابی آنها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. روش‌های شناسایی ریسک قطعات، روش‌های اولویت‌بندی قطعات جاده، ارائهٔ راهکارهای مناسب، به‌کارگیری الگوهای تخصیص بودجهٔ ایمنی و مدل‌های پیش‌بینی تصادفات مواردی است که بااستفاده از نتایج ممیزی ایمنی می‌توان به‌کار گرفت. مدل‌های پیش‌بینی تصادف قطعات یک جاده بااستفاده از پارامترهای به‌دست‌آمده از بازرسی ایمنی راه می‌تواند موجب برنامه‌ریزی بهتر برای قطعات و درنهایت کاهش تصادفات و تلفات گردد.

هدف این پژوهش ارائهٔ مدلی برای پیش‌بینی تصادفات باتوجه به نتایج ممیزی ایمنی راه می‌باشد. در این راستا ۸ عامل مؤثر بر تصادفات شامل وجود پرتگاه، تعداد مشکلات علایم عمودی و افقی، وضعیت روسازی، مشکلات آب‌رو، مشکلات کنار جاده و شانهٔ راه، مشکلات گاردیل، تراکم دسترسی‌ها و موقعیت جاده به‌عنوان متغیر مستقل و تصادفات جرحی و فوتی به‌عنوان متغیر وابسته مدنظر قرار گرفته‌است. باتوجه به عوامل ۸گانهٔ مذکور جادهٔ همدان به کرمانشاه به قطعاتی تقسیم گردید و کلیهٔ مراحل ممیزی ایمنی راه در آن انجام می‌پذیرد و درنهایت باتوجه به بررسی روابط آماری پارامترها، مدلی ارائه می‌گردد که بااستفاده از آن می‌توان احتمال وقوع تصادفات با شدت یعنی

تصادفات جرحی و فوتی را در قطعات یک راه برون‌شهری پیش‌بینی نمود.

اهداف

هدف اصلی در پژوهش مذکور ارائۀ مدل تصادفات بااستفاده از عوامل جاده‌ای است که از ممیزی ایمنی حاصل می‌گردند. سایر اهداف ناشی از پژوهش عبارت‌اند از:

- مشخص نمودن تأثیر هر یک از عوامل جاده‌ای در فراوانی و شدت تصادفات بااستفاده از ممیزی ایمنی.
- انتخاب بهترین شکل مدل درخصوص ارتباط ریاضی عوامل جاده‌ای و تصادفات جاده.

ادبیات تحقیق

مطالعات بسیاری در سال‌های گذشته برای مدل‌سازی تصادفات در راه‌های مختلف برون‌شهری انجام شده‌است تا عوامل مؤثر بر رخداد تصادفات و شدت آنها شناسایی و برای بهبود شرایط ایمنی مهار یا اصلاح شوند[4].

در بین عوامل بروز تصادف یعنی جاده، انسان و وسیلۀ نقلیه، عوامل جاده‌ای بااستفاده از ممیزی ایمنی و بازدید میدانی شناسایی می‌شوند که در کشورهای مختلف جهان در استراتژی‌های ایمنی و همچنین برنامه‌های اجرایی گنجانده شده‌است. در کشورهای توسعه‌یافته در دوره‌های مختلف بازرسی ایمنی و ممیزی ایمنی راه مطرح شده‌است و این فرایند در شرایط مختلف راه (قبل از ساخت تا پایان عملیات راه) وجود دارد و اجرا می‌شود[5].

باتوجه به تحقیقات گذشته مهم‌ترین عوامل جاده‌ای مؤثر بر تصادفات که بااستفاده از بررسی آمار و اطلاعات و همچنین ممیزی راه حاصل می‌گردد عبارت‌اند از:

- فراوانی تصادفات رخ‌دادۀ پیشین: این فراوانی معمولاً در یک بازۀ زمانی مشخص ارزیابی می‌شود. به‌این‌منظور، داده‌های پیشین تصادفات (معمولاً بین ۱- ۳ سال) برای مشخص‌کردن نقاط تصادف‌خیز جاده لحاظ می‌شوند؛ هرچند درصورت پایین‌بودن تصادف نباید آن قطعه جاده را بدون مشکل فرض کرد[6].
- طرح هندسی راه مانند پهنای خطوط، طرح قوس‌ها، طرح تقاطعات[7].
- در برخی تحقیقات از درجۀ انحنای متوسط قوس‌های افقی، شیب یا طول قوس‌های قائم در قطعات مختلف راه برای مدل‌سازی استفاده شده‌است. به‌عنوان مثال در تحقیق کوکلمن و همکارانش مدل رگرسیون برای مدل‌سازی پارامترهای طرح جوابگو بوده‌است[8].
- تراکم دسترسی‌ها و تقاطع‌ها در مقطع جاده: دسترسی مستقیم به جاده باعث افزایش نرخ تصادفات در جاده می‌شود. مطالعات قبلی نشان داده‌است که یک مقطع از جاده با ۱۰ دسترسی در هر کیلومتر به نسبت همان مقطع با ٤ دسترسی در هر کیلومتر میزان تصادفات را ۷۵٪ افزایش می‌دهد. البته باید به این نکته توجه کرد که نحوۀ قرارگیری دسترسی‌ها نیز در افزایش تصادفات مؤثر خواهد بود[9].
- کیفیت و شرایط روسازی مانند ضریب اصطکاک و شیارشدگی[10].
- مشکلات مربوط به خط‌کشی‌ها که شامل نقص‌هایی مانند پاک‌شدن خطوط میانی، خطوط مرکزی، خطوط سبقت ممنوع و سایر خط‌کشی‌ها است. پاک‌شدن خطوط سبقت ۵۰٪ تصادفات را افزایش می‌دهد درحالی‌که خطوط کناری و میانی به‌ترتیب ۸ و ۱۳٪ تصادفات جرحی را افزایش داده‌است[11].

چانگ در سال ۲۰۱۳ از شبکهٔ عصبی مصنوعی برای تحلیل فراوانی تصادفات استفاده کرد و نشان داد که در روش شبکهٔ عصبی مصنوعی نیازی به ارتباط ازپیش تعریف‌شده‌ای بین متغیرهای ورودی مدل و متغیرهای وابسته وجود ندارد[12] .

روش‌های مختلف مدل‌سازی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر تصادف در تحقیقات به‌کار گرفته شده‌است؛ به‌عنوان مثال در مقاله‌ای از هرمانس در سال ۲۰۰۸ متغیرهای مستقل مرتبط با جاده عبارت بودند از سرعت قابلیت دید، زیرساخت و طرح هندسی جاده. برای این منظور ۵ روش مدل‌سازی و اولویت‌بندی مقایسه شد که درنهایت روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) به‌عنوان روش برتر انتخاب شد؛ البته در مدل مذکور سایر عوامل مثل مشکل بینایی، الکل و سیستم‌های بازدارنده، خودرو و مراقبت‌های پزشکی نیز مدنظر قرار گرفت.

در سال‌های اخیر منطق فازی به‌عنوان یک ابزار سودمند برای فرایندهای مدل‌سازی نمود یافته‌است، فرایندهایی که برای تکنیک‌های مرسوم مقداری پیچیده‌اند یا وقتی دانسته‌های به‌دست‌آمده از فرایند، کیفی، مبهم یا غی قطعی باشند از منطق فازی استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال ژنگ و همکارانش در سال ۲۰۱۱ مدل پیش‌بینی تصادفات را بااستفاده از منطق فازی ارائه دادند[14,13].

در سال ۲۰۱۲ در مالزی نجیب تحقیقی را انجام داد که در آن از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی برای مدل‌سازی تصادف استفاده نمود. در این مدل عوامل اصلی جاده‌ای و دارای وزن بیشتر، موانع و فاصلهٔ دید تشخیص داده شدند[15].

یکی از مدل‌های دیگری که در تصادفات راه‌های درون‌شهری و برون‌شهری استفاده می‌شود مدل بیزین است. در سال ۲۰۱٤ در مقاله‌ای با گرداوری آمار سه سالهٔ فلوریدا مقایسه‌ای بین این سه مدل شده‌است و درنهایت با درنظر گرفتن عواملی چون قوس، شیب و طرح هندسی و شرایطی دیگری از جاده، مدل بیزین انتخاب شده‌است[16].

با بررسی مطالعات انجام‌شده می‌توان نتیجه گرفت که در تحقیقات مختلف رابطهٔ گروهی از عوامل جاده-ای بروز تصادف و فراوانی و شدت تصادفات سنجیده شده‌است و در برخی از آنها اهمیت عوامل نیز مد نظر قرار گرفته‌است. هر یک از آنها روش‌های مدل‌سازی متفاوتی نیز به‌کار برده‌اند که از آن جمله می‌توان مدل‌های گسستهٔ سلسله‌مراتبی، مدل‌های رگرسیون خطی، مدل‌های رگرسیون غیرخطی و مدل‌های دیگر را نام برد. در این پژوهش سعی شده اکثر عواملی که تاکنون مدنظر قرار گرفته‌است و همچنین سایر عوامل جاده به‌عنوان متغیرهای مستقل انتخاب شوند و رابطهٔ آنها بااستفاده از مدل‌های رگرسیون پواسون و رگرسیون دوجمله‌ای منفی با تصادفات جاده‌ای تخمین زده شود.

روش انجام تحقیق

در این پژوهش برای شناسایی مشکلات راه از روش ممیزی ایمنی و بازدیدهای میدانی استفاده می-شود. علاوه‌بر بازدید ایمنی آمار تصادفات جرحی و فوتی نیز که از لحاظ ایمنی دارای اهمیت می‌باشد استخراج می‌گردد. در گام بعد باتوجه به داده‌های جمع‌آوری‌شده درخصوص متغیرهای مستقل عملیات مدل‌سازی باتوجه به آمار تصادفات جرحی و فوتی انجام می‌شود.

باتوجه به مطالعات پیشین برای تعیین مدل‌های پیش‌بینی تصادفات و تابع‌های SPF از روش‌های متعددی استفاده شده‌است. در این بخش، اولین مرحله انتخاب روش آماری مورداستفاده برای تعیین مدل پیش‌بینی تصادفات می‌باشد. بررسی‌ها نشان داد مدل‌های رگرسیونی پواسون، پواسون پرصفر و دوجمله‌ای منفی به علت سهولت در توسعهٔ مدل و استفاده از آنها، متداول‌ترین مدل‌ها هستند. نتیجهٔ دیگر از بررسی سایر مطالعات این بود که مدل رگرسیون

پواسون مدل مناسبی برای تعیین رابطه میان خصوصیات هندسی راه و تصادفات می‌باشد؛ اما اگر در رگرسیون پواسون، تصادفات دارای بیش‌پراکنش بودند، بهتر است از رگرسیون پواسون پرصفر یا دوجمله‌ای منفی استفاده شود. از آنجایی‌که رگرسیون دوجمله‌ای منفی بیش‌پراکنش را درنظر می‌گیرد، در توسعهٔ مدل‌های راهنمای ایمنی راه‌ها نیز از این روش آماری استفاده شده‌است. بیش‌پراکنش زمانی اتفاق می‌افتد که واریانس داده‌ها از میانگین آنها بزرگ‌تر شود. بنابراین این روش ازاین‌رو برای پیش‌بینی تصادفات مناسب می‌باشد که تصادفات دارای نوسانات زیاد است و گاهی واریانس آن از میانگین طبیعی هم بیشتر می‌شود. بنابراین در این مطالعه، برای مدل‌سازی تصادفات از روش‌های رگرسیونی پواسون و دوجمله‌ای منفی استفاده شده‌است. درادامه توضیحات مربوط به این مدل‌ها آمده‌است.

مدل رگرسیون پواسون. در آمار، رگرسیون پواسون نوعی از تحلیل رگرسیون و زیرمجموعه‌ای از مدل‌های خطی تعمیم‌یافته است که برای تحلیل داده‌های حاصل از شمارش به‌کار می‌رود. اگر $x \in R^n$ برداری از متغیر وابسته و مستقل باشد، فرم رابطهٔ (۱) را خواهد گرفت.

$$\log(E(Y \mid x)) = a'x + b \qquad (۱)$$

که در رابطهٔ (۱) $a \in R^n$ و $b \in R^n$ می‌باشد رابطهٔ (۱) را می‌توان به‌صورت رابطهٔ (۲) نوشت:

$$\log(E(Y \mid x)) = \theta' x \qquad (۲)$$

که در آن x بردار $n+1$ بعدی از متغیرهاست. با داشتن پارامتر رگرسیون پواسون θ و بردار ورودی x می‌توان معادلهٔ خطی را به‌صورت توان‌دار نوشت و آن را توسعه داد.

در مدل رگرسیون پواسون، مشاهدهٔ kام متغیر وابستهٔ y_k به‌عنوان یک متغیر تصادفی پواسون با میانگین μ_k و تابع توزیع احتمال رابطهٔ (۳) مدل می‌شود:

$$p(y_k) = \frac{e^{-\mu_k} {\mu_k}^{y_k}}{y_k\,!} \qquad (۳)$$

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های مدل رگرسیون پواسون، برابری میانگین با واریانس توزیع است. برای برآورد ضرایب رگرسیون در مدل رگرسیون پواسون از روش درست‌نمایی بیشینه استفاده می‌شود. مقدار پیش‌بینی‌شده $\hat{y}_k$ برابر میانگین شرطی رخدادها به شرط x_k است. این مقدار همان μ_kاست که برابر میانگین متغیر تصادفی y_i با توزیع پواسون می‌باشد.

مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی. متداول‌ترین مدل برای برازش داده‌های شمارشی با ویژگی بیش پراکنش، دوجمله‌ای منفی است که به دو صورت نوع اول(NB-1) و نوع دوم (NB-2) بیان می‌شوند و به‌ترتیب برای تحلیل داده‌ها با مسئلهٔ بیش‌پراکنش ثابت و متغیر به‌کار می‌روند. در مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی، مشاهدهٔ k-ام متغیر وابسته (y_k) دارای تابع توزیع احتمال رابطهٔ (٤) است:

$$p(y_k) = \frac{\Gamma(y_k + r)}{y_k\,!\,\Gamma(r)} \left[\frac{\mu_k}{\mu_k + r}\right]^y \left[\frac{r}{\mu_k + r}\right]^r \qquad (٤)$$

میانگین شرطی y_k برای بردار متغیرهای ناوابستهٔ مشاهده‌شده (x_k) از رابطهٔ (۵) به‌دست می‌آید:

$$E\left(y_k \middle| x_k\right) = \mu_k = e^{x'_{i\beta}} \qquad (۵)$$

رابطهٔ میان میانگین و واریانس در توزیع دوجمله‌ای منفی در نوع بیش‌پراکنش متغیر (NB-2) در معادلهٔ (٦) آمده‌است:

$$V\left(y_k\right) = \mu_k + \frac{۱}{r}{\mu_k}^{۲} \qquad (٦)$$

طبق معادلهٔ (٦)، واریانس توزیع دوجمله‌ای منفی همواره بزرگ‌تر از میانگین آن است. ازاین‌رو برای داده‌های با واریانس بزرگ‌تر از میانگین، این توزیع مناسب می‌باشد. در مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی

علاوه‌بر ضرایب رگرسیون، باید پارامتر بیش‌پراکنش ($\alpha = \frac{۱}{r}$) را نیز برآورد کرد. برای برآورد ضرایب رگرسیون در مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی نیز از روش درست‌نمایی بیشینه استفاده می‌شود. در مدل‌های دوجمله‌ای منفی، شمار پیش‌بینی‌شدهٔ تصادفات ($\hat{y}_k$) برابر میانگین شرطی یا شمار متوسط رخدادها به‌شرط x_k است. این مقدار همان μ_k است که میانگین متغیر تصادفی y_k با توزیع دوجمله‌ای منفی می‌باشد.

در مقالهٔ مذکور برای مدل‌سازی دو مدل اشاره‌شده از نرم‌افزار آماری STATA استفاده شده‌است. داده‌های جمع‌آوری‌شده وارد این نرم‌افزار شده و بااستفاده از رگرسیون دوجمله‌ای منفی و پواسون مدل‌ها ساخته شده‌اند. در خروجی مدل‌ها، هر متغیر دارای یک مقدار سطح معناداری است. در این تحقیق، مقدار سطح معناداری برابر با ۰/۱ به‌عنوان حد قابل‌قبول درنظر گرفته شده است. بدین معنی که مقدار سطح اطمینان برابر با ۹۰ درصد بوده‌است. برای مدل‌سازی از روش گام‌به‌گام استفاده شده‌است. به این طریق که ابتدا همبستگی متغیرهای وابسته با متغیر مستقل تعیین شده‌اند. سپس در مرحلهٔ اول، رگرسیون با متغیری که بیشترین همبستگی را با تصادفات دارد اجرا می‌شود و در مرحلهٔ بعد، متغیری که ازنظر همبستگی با متغیر مستقل دارای رتبهٔ دوم است اضافه می‌شود و دوباره رگرسیون اجرا می‌شود. این کار تا آنجا ادامه می‌یابد تا یکی از متغیرهای مستقل دارای مقدار P-value بیشتر از ۰/۱ شود یا مقدار P-value مدل بیشتر از ۰/۱ گردد. در این صورت متغیری که دارای بیشترین مقدار P-value می‌باشد حذف می‌شود، متغیر بعدی به مدل اضافه می‌گردد و این روند ادامه می‌یابد. بدین طریق معادلهٔ نهایی به‌دست می‌آید.

مدل پیش‌بینی تصادفات در راه برون‌شهری

در این بخش روند کلی انجام پژوهش برای ساخت مدل تصادفات بااستفاده از آمار ممیزی ایمنی گام‌به‌گام ارائه می‌گردد. گام‌های پیشنهادی از ابتدا به شرح *زیر می‌باشد:*

گام اول: قطعه‌بندی جاده. در مرحلهٔ ابتدایی طول قطعات و تعداد آنها مشخص می‌شود. در این گام جادهٔ منتخب به قطعات مساوی تقسیم می‌گردد. درصورت عدم امکان انتخاب قطعهٔ آخر با طول مساوی با سایر قطعات می‌توان طول آن را بزرگ‌تر یا کوچک‌تر درنظر گرفت.

گام دوم: تعیین متغیرهای مستقل و وابسته. در این گام مشخصات ایمنی برای برداشت میدانی مشخص می‌گردد. متغیر وابسته معمولاً تصادفات جرحی یا فوتی و یا ترکیبی از آنها انتخاب می‌شود. متغیرهای مستقل مشخصات ایمنی جاده هستند که شامل مواردی چون وضعیت کنارهٔ راه، تجهیزات حفاظتی، شانهٔ راه، مشخصات هندسی وضعیت علایم عمودی، شرایط علایم افقی و خط‌کشی، وضعیت روسازی و دسترسی‌ها می‌شود. البته ممکن است در مدل پیشنهادی برخی از متغیرهایی که برداشت می‌شوند به‌دلیل وابستگی و یا سایر معیارهای مدل‌سازی حذف شوند و یا امکان برداشت برخی از مشخصات نباشد.

گام سوم: بازرسی و برداشت اطلاعات ایمنی مسیر. پس از تعیین متغیرهای مستقل باید فرم‌های مخصوص بازرسی از مسیر طراحی شود و تیم ممیزی آموزش‌دیده و دارای تجربه تشکیل گردد و درنهایت بازرسی و ممیزی ایمنی مسیر انجام شود. توصیه این است در فرم‌های بازرسی اطلاعاتی نظیر وضعیت مختصات جغرافیایی و کیلومتراژ نقاط، اطلاعات آب‌وهوایی، مشخصات محلی و کدهای عکس‌ها و مشکلات نیز ثبت گردد تا مشخص شود در کدام قطعهٔ راه قرار می‌گیرند.

گام چهارم: جمع‌آوری داده‌های تصادفات. معمولاً داده‌های تصادفات به سه صورت خسارتی، جرحی و فوتی جمع‌آوری می‌گردد اما در ایران تصادفات خسارتی به‌صورت دقیق و مناسب ثبت نمی‌شود. ضمن

این‌که شاخص‌های ایمنی معمولاً براساس تصادفات فوتی و جرحی تعیین می‌گردد. درنتیجه پیشنهاد این است که اطلاعات تصادفات جرحی و فوتی برای مدل‌سازی استفاده شود.

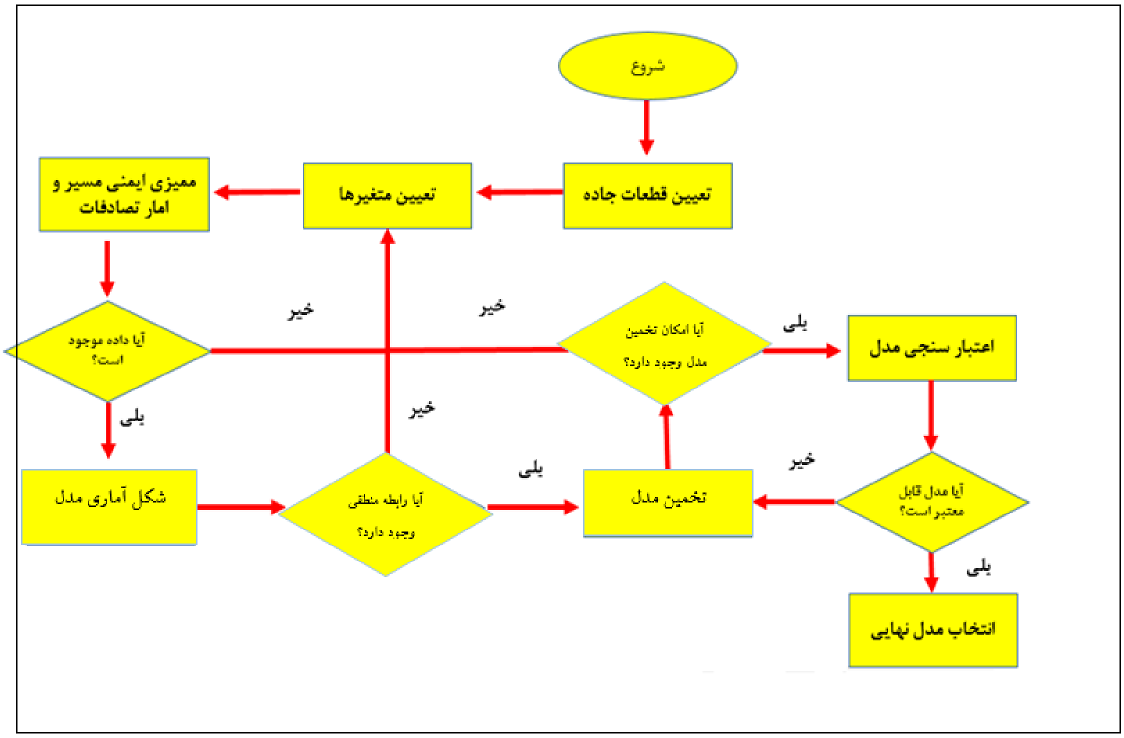
گام پنجم: انتخاب رابطهٔ آماری بین متغیرهای وابسته و مستقل. پس از جمع‌آوری اطلاعات باید بین تصادفات و پارامترهای جمع‌آوری‌شده در ممیزی ایمنی رابطهٔ آماری منطقی برقرار شود. همان‌طور که اشاره شد بدین منظور از نرم‌افزار STATA استفاده می‌گردد و باتوجه به فرضیات مدل‌سازی روابط آماری شکل داده می‌شود و مدلی که برازش بهتری دارد انتخاب می‌شود. باتوجه به روش تحقیق پیشنهادی برای این پژوهش مدل‌های رگرسیون دوجمله‌ای منفی و رگرسیون پواسون بررسی می‌گردند.

گام ششم: تخمین مدل. پس از مطمئن‌شدن از وجود رابطهٔ آماری در مرحلهٔ بعد، مدل تخمین زده می‌شود.

در این مرحله باید ضرایب هر یک از پارامترهای مستقل و ضریب ثابت مشخص شود. همان‌طور که اشاره شد روش درست‌نمایی بیشینه ملاک عمل است.

گام هفتم: انجام تست‌های مرتبط با مدل‌سازی. پس از مشخص شدن ضرایب متغیرهای مستقل و ضریب ثابت حال باید آزمون‌های لازم شامل تست t، تست علامت، همبستگی خطی بین متغیرهای مستقل و واریانس‌ها و مشخصات دیگر به‌طور کامل مورد بررسی قرار گیرد. درصورتی‌که همهٔ آزمون‌ها جواب داد آن‌گاه مدل مورد تأیید می‌باشد. اگر مشکلی وجود داشت باید به گام‌های قبل بازگشت و نوع تابع و رابطهٔ آماری و یا متغیرهای مستقل را تغییر داد.

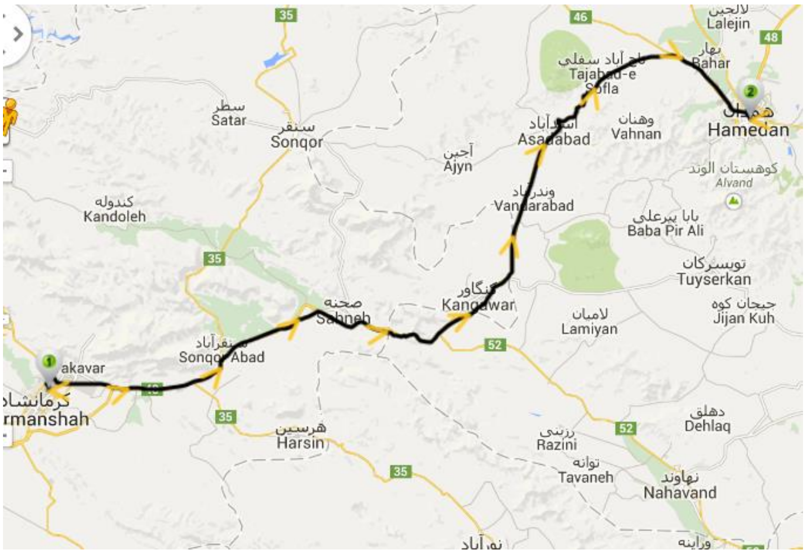
در شکل ۱) فلوچارت مدل‌سازی تصادفات در قطعات جادهٔ برون‌شهری بااستفاده از آمار ممیزی ایمنی نشان داده شده‌است.



شکل ۱ مدل‌سازی تصادفات در قطعات جادهٔ برون‌شهری بااستفاده از آمار ممیزی ایمنی

ارائهٔ مدل تصادفات در محور همدان- کرمانشاه. پس از ارائهٔ روند مدل‌سازی تصادفات بااستفاده از ممیزی ایمنی در قطعات جادهٔ برون‌شهری در گام بعد یکی از جاده‌های مهم برون‌شهری کشور بین شهرهای همدان و کرمانشاه به‌عنوان مطالعهٔ موردی مدنظر قرار گرفت. جادهٔ کرمانشاه- همدان مهم‌ترین محور بین دو استان همدان و کرمانشاه می‌باشد که بخشی از بزرگراه کربلا نیز محسوب می‌گردد. این محور انواع شرایط توپوگرافی را دارا می‌باشد و ردهٔ آن از نوع اصلی درجهٔ ۱ است. نقشهٔ مسیر مذکور در شکل ۲) نشان داده شده‌است.

در ابتدا کدهای مشکلات و متغیرهای وابسته و متغیرهای مستقل مورد نیاز (برای برداشت) تعیین گردید. در این راستا ۱۲ کد اصلی طبق جدول ۱) به‌عنوان کد برداشت اطلاعات انتخاب شد که هم کد عددی و هم کد حرفی برای آنها منظور گردید. کد عددی برای سهولت در برداشت اطلاعات و کد حرفی به‌منظور سهولت مدل‌سازی و ورود داده‌ها به نرم‌افزار مدنظر قرار گرفت.



شکل ۲ نقشهٔ مسیر همدان- کرمانشاه

جدول ۱ کدهای مربوط به مشخصات مسیر جاده و مشکلات برداشت‌شده از ممیزی ایمنی

نوع موقعیت یا مشکل	کد عددی	کد حرفی
تصادف جرحی	۱	C
تصادف فوتی	۲	D
تراکم دسترسی	۳	E
تعداد مشکلات روسازی	٤	F
تعداد مشکلات کنار جاده	٥	G
تعداد مشکلات علائم عمودی و افقی	٦	H
وجود پرتگاه	۷	I
مشکلات گاردریل	۸	J
مشکلات آب‌رو	۹	K
قوس افقی	۱۰	L
قوس قائم	۱۱	M
هموار	۱۲	N

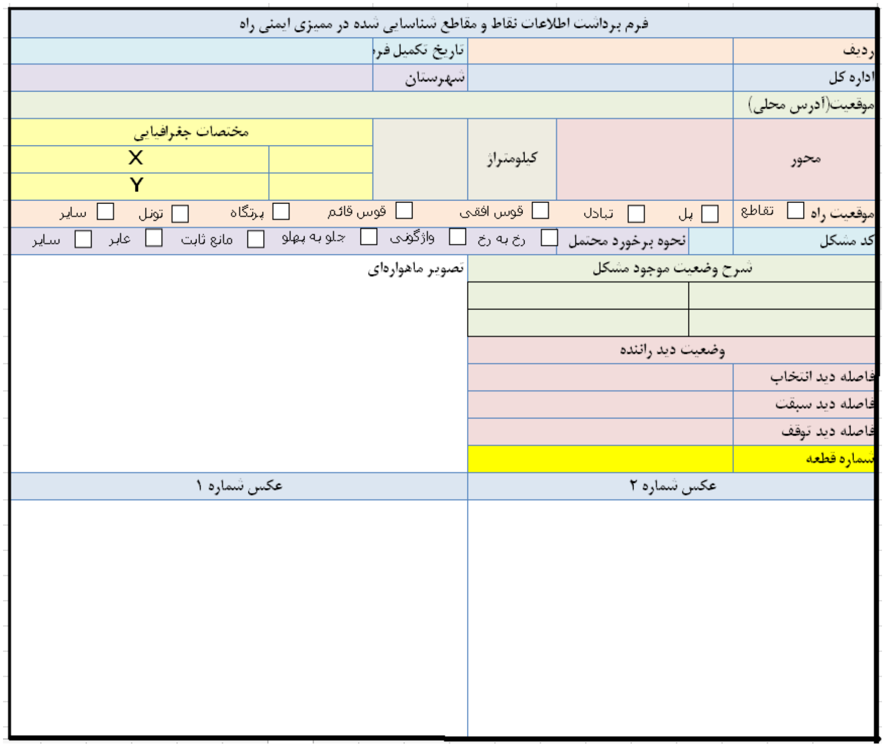
در گام بعد برای برداشت اطلاعات، تیم ممیزی دارای صلاحیت از سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای تشکیل گردید و درراستای داده‌برداری، فرم‌های ممیزی به‌صورت شکل(۳) تهیه گردید.

همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده‌است اطلاعات دیگری برای شناسایی دقیق نقاط و قرار دادن هر یک از آنها در قطعات تعیین‌شده برای جاده در فرم گنجانده شد. البته نکتهٔ قابل ذکر درخصوص فرم‌ها این است که اکثر اطلاعات در مسیر، برداشت و وارد فرم می‌شود اما برخی از آنها نظیر تصویر ماهواره‌ای پس از اتمام بازدید وارد می‌گردد.

پس از انجام عملیات برداشت برای ورود داده‌ها به نرم‌افزار کدهای حرفی مختص هر یک از مشکلات به آنها اختصاص داده شد. بخشی از داده‌های ورودی به نرم‌افزار STATA برای ساخت مدل‌های تصادف در جدول ۲) نشان داده شده‌است.

برای داده‌های نشان داده‌شده در جدول (۲) مدل تصادفات جرحی و فوتی به‌صورت جداگانه و برای هر یک از روش‌های رگرسیون دوجمله‌ای منفی و پواسون ساخته شد. باتوجه به متغیرهای مستقل و وابستهٔ مدل که در جدول (۱) نشان داده شده‌است، چندین بار هر یک از مدل‌ها ساخته شد و آماره‌های آنها و آزمون‌ها مقایسه گردید. بهترین نتایج مدل رگرسیون دوجمله‌ای منفی در جدول (۳ و ٤) به‌ترتیب برای تصادفات جرحی و فوتی نشان داده شده‌است.

همان‌طور که جدول (۳) نشان می‌دهد در بهترین مدل دوجمله‌ای منفی برای تصادفات جرحی، ۲ متغیر مستقل وجود پرتگاه در کنارهٔ راه و همچنین هموار بودن مسیر با ضریب اطمینان ۹۹ درصد معنادار شد. ضمن این‌که آمارهٔ LR، ۷٫۳۸ شد.



شکل ۳ نمونهٔ فرم برداشت اطلاعات مشکلات ایمنی قطعات جاده

جدول ۲ بخشی از داده‌های ورودی به نرم‌افزار برای ساخت مدل‌های تصادف

کیلومتراژ	هموار	قوس قائم	قوس افقی	مشکلات آبرو	مشکلات گاردریل	وجود پرتگاه	تعدادمشکلات علائم عمودی و افقی	تعداد مشکلات کنار جاده	تعداد مشکلات روسازی	تراکم دسترسی	تعداد تصادفات جرحی	تعداد تصادفات فوتی	ردیف
۰–٥	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	٥	٦	۱	۱
٥–۱۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۲	۰	۰	۲	۱٤	۲	۲
۱۰–۱٥	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۲	۱٤	٤	۳
۱٥–۲۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	٦	۲	٤
۲۰–۲٥	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۳	۱	۰	۲	۱	۰	٥
۲٥–۳۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۳	۱	۰	۳	۲۰	٤	٦
۳۰–۳٥	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۲	۰	۱	۲	۰	۷
۳٥–٤۰	۰	۱	۰	۱	۱	۲	۲	٤	۱	۰	۱	۱	۸
٤۰–٤٥	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۳	٤	۰	۸	۲	۱	۹
٤٥–٥۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۲	۰	۳	۱	۰	۱۰
٥۰–٥٥	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	٥	۹	۱	۱۱
٥٥–٦۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۳	٤	۲	۱۲
٦۰–٦٥	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۲	۲	۰	۱۳
٦٥–۷۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۲	۱	۰	۱٤
۷۰–۷٥	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۰	۳	۰	۰	۱٥

جدول۳ ضرایب و آماره‌های خروجی نرم‌افزار STATA در مدل دوجمله‌ای منفی برای تصادفات جرحی

پارامتر	ضریب	Z	P>|Z|
عدد ثابت	۲/۳۸	۸/۹٦	۰/۰۰۰
I	−۱/۱۳	−۲/٦۱	۰/۰۰۹
N	−۰/۷۸	−۱/۹۲	۰/۰٥٥
Log likelihood: −۱۸۰/٤٥ LR chi2 (2): ۷/۳۸ Pseudo R2: ۰/۰۲			

جدول٤ ضرایب و آماره‌های خروجی نرم‌افزار STATA در مدل دوجمله‌ای منفی برای تصادفات فوتی

پارامتر	ضریب	Z	P>|Z|
عدد ثابت	−۰/۲٤	−۰/٥٦	۰/٥۷۳
E	۰/۲۱	۱/۷۷	۰/۰۷٦
Log likelihood: −۹۸/۸۰ LR chi2 (1): ۳/۲٦ Pseudo R2: ۰/۱٦۲			

باتوجه به اطلاعات جدول (٤) در مدل دوجمله‌ای منفی تصادفات فوتی تنها متغیر مستقل معنادار آن هم با ضریب اطمینان ٩٣ درصد، تراکم دسترسی می‌باشد و میزان LR نیز ٣,٢٦ شد.

به‌منظور ساخت مدل‌های پواسون متغیرهای مستقل به‌صورت همه‌باهم و همچنین با درنظر گرفتن ترکیبات مختلف آنها مدنظر قرار گرفت که درنهایت بهترین نوع مدل برای تصادفات جرحی و فوتی به‌صورت جدول (٥ و ٦) باتوجه به ضرایب و خروجی‌های نرم‌افزار حاصل گردید.

در جدول (٥) مدل پواسون پیش‌بینی تصادفات جرحی مشاهده می‌گردد که به‌لحاظ معناداری کل مدل در سطح قابل قبولی قرار دارد، بدین صورت که آمارهٔ LR آن به‌گونه‌ای است که احتمال غیرمعنادار بودن مدل نزدیک به صفر است. همچنین مشاهده می‌شود که هر کدام از متغیرها بالای ٩٩ درصد معنادار هستند. نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد مهم‌ترین متغیرهای مستقل در مدل پواسون تصادفات منجر به جرح عبارت‌اند از تراکم دسترسی، مشکلات کنار جاده، وجود پرتگاه، مشکلات آب‌رو، قوس افقی و قوس قائم.

اگر قرار باشد هر کدام از متغیرها به‌تنهایی مورد بررسی قرار گیرد وجود قوس قائم و بعد از آن قوس افقی به‌دلیل مشکلات دید سبقت و توقف بیشترین تأثیر و تراکم دسترسی دارای کمترین تأثیر در این نوع تصادفات هستند. یکی از نکات جالب‌توجه این است که وجود پرتگاه باعث کاهش این نوع از تصادفات خواهد شد.

متغیرهای مستقل دیگری در تصادفات منجر به فوت در قطعات راه مؤثر بودند که در جدول (٦) این متغیرها و میزان اثرگذاری آنها در مدل تصادفات منجر به فوت نشان داده شده‌است.

در جدول (٦) مدل پیش‌بینی تصادفات فوتی در قطعات راه‌های برون‌شهری مشاهده می‌گردد که به‌لحاظ معناداری کل مدل در سطح قابل قبولی قرار دارد، بدین صورت که آمارهٔ LR آن به‌گونه‌ای است که احتمال غیرمعنادار بودن مدل نزدیک به صفر است. همچنین مشاهده می‌شود که هر کدام از متغیرها دارای معناداری بالای ٩٥ درصد هستند. در مدل پیش‌بینی تصادفات فوتی متغیرهای مستقل عبارت‌اند از تراکم دسترسی، مشکلات روسازی، وجود پرتگاه در قطعه، مشکلات آب‌رو و تلاقی قطعه با یک قوس قائم.

جدول٥ ضرایب و آماره‌های خروجی نرم‌افزار STATA در مدل پواسون برای تصادفات جرحی

پارامتر	ضریب	Z	P>|Z|
عدد ثابت	١/٠٩	٧/٣٨	٠/٠٠٠
E	٠/١٧	٧/٥٩	٠/٠٠٠
G	−٠/٤٤	−٨/٢١	٠/٠٠٠
I	−٠/٨١	−٥/٢٢	٠/٠٠٠
K	٠/٣٨	٣/٣١	٠/٠٠١
L	٠/٩٢	٦/٩٢	٠/٠٠٠
M	١/١٣	٨/٢٣	٠/٠٠٠
Log likelihood: −٣٧٨/٤٧ LR chi2 (6): ٢٠٩/١٨ Pseudo R2: ٠/٢٢			

جدول٦ ضرایب و آماره‌های خروجی نرم‌افزار STATA در مدل پواسون برای تصادفات فوتی

پارامتر	ضریب	Z	P>|Z|
عدد ثابت	−٠/٣٣	−١/٤٨	٠/١٣٨
E	٠/١٣	٣/١٨	٠/٠٠١
F	٠/٥٥	٢/٥٧	٠/٠١٠
I	−١/٢١	−٣/٢٩	٠/٠٠١
K	٠/٧٣	٤/٧٤	٠/٠٠٠
M	٠/٤٥	٢/٠٤	٠/٠٤١
Log likelihood: −١٤٠/٠٩ LR chi2 (6): ٦٥/٨٣ Pseudo R2: ٠/١٩			

بررسی مدل نشان می‌دهد در قطعاتی که مشکلات زه‌کشی دارند و آب‌روی آنها استاندارد نیست و آشکارسازی مناسبی برای آنها مدنظر قرار نگرفته‌است تصادفات فوتی بیشتری وجود دارد. همچنین تراکم دسترسی در یک قطعه از لحاظ ضریب در تصادفات فوتی قطعه تأثیر دارد اما دارای ضریب کمتری به نسبت سایر متغیرها می‌باشد.

پس از ساخت مدل‌ها و شناسایی عوامل مـؤثر در تصادفات جرحی و فوتی، ارزیابی و مقایسه مدل‌ها انجام می‌شود تا کارایی هر یک در تخمین تصادفات مشخص شود. بررسی و مقایسهٔ خروجی مدل‌ها بااستفاده از شاخص‌های خوبی برازش مدلها و مقدار آماره نسبت بزرگنمایی LR، تعداد پارامترهای مستقل معنی‌دار، ضرایب بین مدل‌های ساخته‌شده انجام شد. همان‌طور که مقایسهٔ جداول (٣) با (٥) و (٤) با (٦) نشان می‌دهد، مدل پواسون اعتبار بیشتری دارد و این موضوع هم برای تصادفات جرحی و هم برای تصادفات فوتی صادق می‌باشد. در مدل پواسون تصادفات جرحی ٦ متغیر ممیزی ایمنی معنادار شد اما در مدل دوجمله‌ای منفی جرحی تنها ٢ متغیر مستقل معنی‌دار شد. در مدل پواسون تصادفات فوتی ٥ متغیر ممیزی ایمنی معنادار شد و در مدل دو جمله‌ای منفی تصادفات فوتی تنها ١ متغیر مستقل معنادار شد. مقایسهٔ مدل‌ها نشان می‌دهد که پارامتر پراکندگی در مدل دوجمله‌ای منفی معنادار است و همچنین مقدار منفی دوبرابر لگاریتم درست‌نمایی برای مدل پواسون بزرگ‌تر است. مقایسهٔ دو مدل در جدول (٧) نشان داده شده‌است.

به‌منظور اعتبارسنجی مدل، داده‌های مربوط به ١٠ قطعه از مسیر کرمانشاه- سنندج بااستفاده از مدل پواسون بررسی گردید و پیش‌بینی تصادفات جرحی و فوتی با آمار تصادفات موجود در محور مقایسه گردید. بدین منظور ازخطای جذر میانگین مربع‌ها بین نتایج پیش بینی و داده‌ها واقعی استفاده شد. معیار مذکور ٠/٨١ شد که نشان از اعتبار مدل پیشنهادی دارد.

جدول٧ ارزیابی و مقایسهٔ دو مدل بهتر پواسون و دوجمله‌ای

مدل / شاخص	دوجمله‌ای منفی	پواسون
تصادفات جرحی		
-2LL	٣٦٠/٩	٧٥٦,٩٤
LR	٧/٣٨	٢٠٩/١٨
تعداد متغیرهای مستقل معنادار در بهترین مدل	٢	٦
تصادفات فوتی		
-2LL	١٩٧/٦	٢٨٠,١٨
LR	٣/٢٦	٦٥/٨٣
تعداد متغیرهای مستقل معنادار در بهترین مدل	١	٥

نتیجه‌گیری

به‌منظور ساخت مدل پیش‌بینی تصادفات قطعات راه-های برون‌شهری بااستفاده از داده‌های ممیزی ایمنی راه دو مدل اصلی رگرسیون دوجمله‌ای منفی و رگرسیون پواسون مدنظر قرار گرفت که هم درخصوص تصادفات جرحی و هم درخصوص تصادفات فوتی مدل‌های پواسون اعتبار بیشتری داشت. برخی دیگر از نتایج حاصل از پژوهش به‌شرح زیر می‌باشد:

- در مدل‌های ساخته‌شده با مدل‌های مختلف و ترکیبات مختلف متغیرهای مستقل بهترین مدل‌ها، مدل‌های پواسونی تصادفات فوتی و جرحی بودند که در جدول (۸) نشان داده شده‌است.

جدول ۸ متغیرهایی که بیشترین معناداری را در بین مدل‌های رگرسیون پواسون داشتند

ردیف	نوع تصادفات (متغیر وابسته)	متغیرهای مستقل
۱	تصادفات جرحی	تراکم دسترسی، مشکلات کنار جاده، وجود پرتگاه، مشکلات آب‌رو، قوس افقی و قوس قائم
۲	تصادفات فوتی	تراکم دسترسی، مشکلات روسازی، وجود پرتگاه در قطعه، مشکلات آب‌رو و قوس قائم

- در مدل تصادفات جرحی مهم‌ترین عامل قوس قائم می‌باشد که موجب مشکلات دید می‌گردد و در تصادفات فوتی مشکلات آب‌روهایی بیش از ۳ متر حادتر از سایر پارمترها می‌باشد. دلیل اصلی این موضوع واژگونی خودروها در محدودهٔ آب‌روهایی است که ارتفاع زیادی دارند و درنتیجه به‌دلیل عدم آشکارسازی، توسط رانندگان مشاهده نمی‌گردد.
- در مدل تصادفات جرحی عامل دوم و تأثیرگذار در تصادفات مشکلات آب‌روی قطعه است و در تصادفات فوتی، مشکلات روسازی به‌عنوان عامل تأثیرگذار دوم، موجب افزایش این نوع از تصادفات می‌گردد. البته منظور از مشکلات روسازی، ترک‌های جزئی و خرابی‌های کوچک نبود زیرا مواردی به‌عنوان خرابی روسازی برداشت می‌شد که احتمال واژگونی و انحراف داشت و وسعت آنها نیز زیاد بود.
- تراکم دسترسی به‌عنوان عامل تأثیرگذار در هر دو نوع تصادفات می‌باشد که نشان می‌دهد هر چه تعداد دسترسی در یک قطعه بیشتر باشد هم فراوانی تصادفات جرحی و هم تصادفات فوتی را افزایش می‌دهد.
- بررسی عوامل تأثیرگذار تصادف نشان داد وجود قوس‌های افقی موجب افزایش تصادفات جرحی می‌گردد.
- بررسی ضرایب مربوط به وجود پرتگاه در قطعه نشان داد که این عامل موجب کاهش تصادفات جرحی و فوتی می‌گردد. دلیل این امر می‌تواند کاهش سرعت خودروها در این قطعات و احتیاط و دقت بیشتر رانندگان باشد.
- باتوجه به نتایج پژوهش انجام‌شده به‌منظور اولویت‌بندی راهکارها برای کاهش تلفات و جراحات باید آشکارسازی و نصب حفاظ در محدودهٔ آب‌روها، رفع مشکلات روسازی، رفع موانع دید، اصلاح قوس و اصلاح دسترسی‌ها و آشکارسازی آنها در اولویت کار قرار گیرد.

مراجع

1. Singh, S., "Critical Reasons for Crashes Investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey", No. DOT HS 812 115, (2015).

۲. سیمای ایمنی راه‌ها (۲)، گزارش ملی وضعیت ایمنی رانندگی در ایران، وزارت راه و شهرسازی، (۱۳۹٤).

2. Highway Safety Manual (HSM), American Association of State Highway and Transportation Officials, (2010).
3. Lee, J.Y., Chung, J.-H. and Son, B., "Analysis of Traffic Accident Size for Korean Highway Using Structural Equation Models", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 40, No. 6, pp. 1955–1963, (2008).
4. Sun, X., Li, Y., Magri, D., & Shirazi, H. H., "Application of Highway Safety Manual Draft Chapter: Louisiana Experience", Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board*, Vol.1950, No. 1, pp. 55-64, (2006).
5. Phimister, J. R., Bier, V. M., & Kunreuther, H. C. (Eds.), "Accident Precursor Analysis and Management: Reducing Technological Risk Through Diligence", National Academies Press, (2014).
6. Milton, J.C., Shankar, V.N. and Mannering, F.L. "Highway Accident Severities and the Mixed Logit Model: An Exploratory Empirical Analysis", *Accident Analysis and Prevention*, Vol.40, No. 1, pp. 260–266, (2008).
7. Ma, J., Kockelman, K.M. and Damien, P., "A Multivariate Poisson-lognormal Regression Model for Prediction of Crash Counts by Severity, Using Bayesian Methods", *Accident Analysis and Prevention*, Vol.40, No. 3, pp. 964-975, (2008).
8. Cafiso, S., La Cava, G., Leonardi, S., Montella, A., and Pappalardo, G, "Operative Procedures for Road Safety Inspections," Varsaw, Poland, (2012).
9. Anastasopoulos, C. and Mannering, F.L., "A Note on Modeling Vehicle Accident Frequencies with Random-parameters Count Models", *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 41, No. 1, pp. 153–159, (2009).
10. Cafiso, S., Cava, G. L., & Montella, A., "Safety Index for Evaluation of Two-lane Rural Highways". Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 2019, No.1, pp. 136-145, (2007).
11. Chang, L., "Analysis of Freeway Accident Frequencies: Negative Binomial Regression Versus Artificial Neural Network", *Safety Science,* Vol.43, No. 8, pp. 541–557, (2005).
12. Hermans, E., Van den Bossche, F., & Wets, G., "Combining Road Safety Information in A Performance Index", Accident Analysis & Prevention, Vol. 40, No. 4, pp. 1337-1344, (2008).
13. Zheng, L., and Meng, X., "An Approach to Predict Road Accident Frequencies: Application of Fuzzy Neural Network", *3rd International Conference on Road Safety and Simulation*, September 14-16, Indianapolis, USA, (2011).
14. Mc Elhinney, C. P., Kumar, P., Cahalane, C., & McCarthy, T., "Initial Results from European Road Safety Inspection (EURSI) Mobile Mapping Project", *In ISPRS Commission V Technical Symposium,* pp. 440-445, (2010).
15. Zeng, Q., & Huang, H., "Bayesian Spatial Joint Modeling of Traffic Crashes on an Urban Road N-etwork", *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 67, pp. 105-112, (2014).